

## **МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ РЕЗОНАНСНОГО ЗБУДЖЕННЯ РАДІОПОГЛИНАЮЧИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ**

*Анотація:* За допомогою запропонованої в статті моделі можуть бути дослідженні перспективні способи отримання інформації про сучасні літальні апарати.

*Ключові слова:* НВЧ-хвилі, НВЧ-опромінювання, НВЧ-сигналом, імпульсна потужність генератора.

### **Вступ**

Сучасні технології все більше використовують різноманітні діелектричні матеріали, в тому числі радіопоглинаючі речовини, у конструкціях та деталях об'єктів різного призначення. Останнім часом новації такого характеру особливо широко застосовують при конструюванні літальних апаратів та іншої техніки для зменшення радіолокаційної помітності. Зазначена тенденція суттєво впливає на фізичні процеси, що супроводжують радіолокаційне виявлення таких об'єктів спонукало до більш детального дослідження властивостей радіопоглинаючих матеріалів під час їх опромінювання надвисокочастотними (НВЧ) електромагнітними хвилями.

Для рішення проблеми визначення властивостей радіопоглинаючих діелектриків при їх опроміненні електромагнітними хвилями НВЧ діапазону була проведена низка експериментів. Суть експериментів полягала у виявленні закономірностей взаємодії електромагнітних НВЧ-хвиль з кристалічною структурою радіопоглинаючої речовини [2]. При проведенні експериментів був підтверджений ефект збудження зразка та випромінювання ним електромагнітних хвиль. Після здійснення неодноразових випробувань щодо визначення інтенсивності і кутів опромінювання зразків радіопоглинаючих матеріалів з метою дослідження ефекту їх резонансного збудження, авторами був проведений аналіз отриманих результатів та визначені якісні та кількісні умови виникнення ефекту електромагнітного збудження поверхні діелектрика.

Метою статті є оцінка можливості використання моделі де Бройля для пояснення процесу взаємодії електромагнітного поля НВЧ з кристалічною структурою радіопоглинаючих діелектриків і проведення теоретичних досліджень щодо ефекту резонансного збудження і перевипромінювання електромагнітних коливань діелектричною радіопоглинаючою речовиною.

### **Основна часина**

Як відомо, в положеннях моделі де Бройля гіпотетично стверджувалося, що хвильовий характер взаємодії електромагнітного НВЧ-сигналу

опромінювання можливий з усіма типами елементарних частинок, в тому числі і з атомами кристалічної решітки на глибину проникнення електромагнітного поля [3].

Гіпотеза де Бройля підтвердилась в подальшій науковій практиці – була виявлена дифракція електромагнітної хвилі на кристалічній решітці речовини. Зазначене явище було досконало досліджене для випадку резонансної взаємодії електромагнітного НВЧ-опромінювання з металами та напівпровідниками, а для діелектриків цей процес досліджений мало [3].

При опроміненні речовини електромагнітним НВЧ-сигналом спостерігається дифракційна картина, оскільки атоми (молекули) кристалічної решітки розташовані в правильному порядку і утворюють природню дифракційну решітку [3].

Оскільки умови застосування моделі де Бройля відповідають процесу опромінювання НВЧ-хвилями діелектричної речовини, припустимо використання зазначеної моделі для теоретичного аналізу процесу резонансної взаємодії електромагнітних НВЧ-хвиль з діелектриком.

Співпадіння довжин хвиль сигналу опромінювання та власних коливань атомів викликає явище резонансної взаємодії сигналу опромінювання і власних коливань атомів в кристалічній структурі діелектрика. Таким чином, подвійна карпескулярно-хвильова природа взаємодії електромагнітних НВЧ-сигналів опромінювання і елементарних частинок діелектричної речовини є встановленим фактом [4], а резонансні явища даної взаємодії потребують експериментальних досліджень для певних речовин.

Практичний інтерес щодо експериментальних досліджень викликає вуглець, оскільки за своїми природними якостями він має найбільші радіопоглинаючі властивості. Використовуючи відому методику [3] можна розрахувати резонансну довжину хвилі опромінювання для зразка цієї речовини зі швидкістю орбітального руху атому у зв'язках кристалічної решітки  $5,9 \cdot 10^9$  м, яка буде складати  $1,2 \cdot 10^9$  м.

Під час експериментального опромінювання зразка вуглецю від зовнішнього джерела електромагнітного НВЧ-сигналу (генератор Г-409) з довжиною хвилі  $\lambda_1 = \lambda = 1,2 \cdot 10^9$  м, що відповідає умовам частотного резонансу, на виході хвильоводної лінії із зразком за допомогою двопроменевго осцилографа С1-75 фіксувався відгук, який в деяких випадках збільшувався, а в інших зменшувався. Зафіксоване явище вимагало додаткового аналізу моделі резонансної взаємодії за де Бройлем. Інтенсивність взаємодії зумовлена проходженням НВЧ-сигналу крізь міжатомарні проміжки або вузли кристалічної структури речовини [4]. Тобто в атомарних або молекулярних кристалічних решітках енергія взаємодії з опромінюючим НВЧ-сигналом залежить від відстані між частинками.

Для отримання співвідношення, яке описує процес взаємодії резонансного характеру, необхідно зазначити наступне:

- початкова фаза несучої частоти сигналу опромінювання змінюється за лінійною залежністю з кроком  $1^\circ$ ;

- дифракція хвилі відбувається на атомарній кристалічній решітці, де існує кінцева відстань між ядрами атомів;
- явище дифракції розглядається як хвильовий процес, де довжина хвиль опромінювання і власних коливань атомів кратна з коефіцієнтом 1000.

Таким чином, в явищі дифракції хвилі на кристалічній решітці радіопоглинаючої речовини виявляються її хвильові властивості, а коливання атомів у даному випадку можна розглядати як хвилю з певною довжиною. Під час зустрічі електромагнітної хвилі опромінювання з атомами речовини відбувається інтерференція (підсилення або гасіння взаємодіючих хвиль) в залежності від різниці фаз [5]. В даному випадку різниця фаз буде відігравати суттєве значення у визначенні модуля сигналу збудження при резонансній взаємодії.

Амплітуди резонансної взаємодії  $\dot{A}_{рез}$  залежать від амплітуди падаючої хвилі  $\dot{A}_1$  та амплітуди коливань атомів у вузлах кристалічної решітки речовини  $\dot{A}_2$ . Відповідно до моделі резонансної взаємодії НВЧ-хвиль з кристалічною решіткою речовини де Бройля відбувається векторне складання амплітуд в залежності від різниці фаз відповідних коливань:

$$A_{рез}^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\varphi. \quad (1)$$

Для дослідження ефекту резонансної взаємодії електромагнітних НВЧ-хвиль з кристалічною решіткою діелектричної речовини з метою вивчення якісних та кількісних характеристик резонансних властивостей певних речовин: активованого вугілля, фторопласту-III та кардієриту на експериментальній базі підприємства був проведений експеримент за допомогою експериментального стенду. Стенд складається з НВЧ-генератора Г-409, хвилеводної вимірювальної лінії, детектору Д5-103, аналізатора спектру С4-60, осцилографа С1-75 та характеристикографа Р2-103. В хвилеводі розміщався зразок радіопоглинаючого матеріалу. Опромінювання піддослідних зразків проводилося квазібезперервним сигналом з постійною зміною початкової фази несучих коливань в імпульсах.

Вихідними даними для експерименту були:

лінійний розмір радіопоглинаючого матеріалу – 7 мм;

імпульсна потужність генератора – 0,1 Вт;

тривалість імпульсу – 700 мкс;

період слідування імпульсів – 100 мкс;

діапазон змінювання початкової фази несучого коливання –  $0 \dots 2\pi$ .

Об'єм, в якому здійснювалося дослідження зразків радіопоглинаючих матеріалів, обмежувався розмірами хвилеводу (табл. 1), вимірювання проводились при кімнатній температурі без впливу зовнішніх штучних енергетичних полів.

Відповідно до моделі де Бройля резонансна за фазою та частотою взаємодія електромагнітного НВЧ-сигналу з елементарними частинками речовини призводить до некогерентного збудження, при якому НВЧ-хвиля опромінювання віддає частину своєї енергії атомам у вузлах кристалічної

Умови та результати проведення експерименту з визначення резонансних властивостей радіопоглинаючих матеріалів

№ п/п	Матеріал зразка	Базовий елемент	Частота власних коливань, ГГц	Частота резонансної взаємодії, ГГц	Фаза резонансної взаємодії, рад	Розміри хвильової лінії, мм
1.	Активоване вугілля	C	3,9·10 <sup>5</sup>	3,89 ± 0,1	(0,4; 1,1; 1,7)	7,2 × 3,4
2.	Фторопласт-III	Cl	3,03·10 <sup>5</sup>	3,02 ± 0,1	(0,5; 1,2; 1,8; 2,3)	16 × 8
3.	кардієрит	Si	2,54·10 <sup>5</sup>	2,54 ± 0,1	(0,2; 1,0; 1,6; 2,0)	28 × 12,6

решітки і переводить їх у збуджений стан [3]. Цей стан супроводжується випромінюванням електромагнітної енергії з максимізацією за умови, коли різниця фаз дорівнює 0.

Отримана осцилограма протектованих сигналів (рис. 1) показує наявність в періодичній послідовності радіоімпульсів додаткового сигналу, що свідчить про активізацію радіопоглинаючого матеріалу на резонансній частоті.

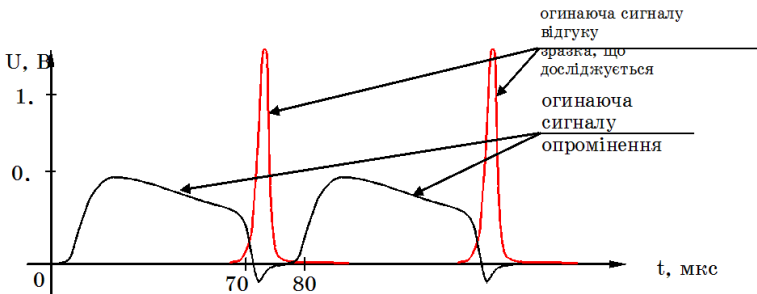


Рис. 1 – Осцилограма протектованих сигналів на виході вимірювальної лінії

Характер залежності резонансних властивостей радіопоглинаючих речовин від початкової фази несучих коливань радіоімпульсу опромінювання свідчить про появу циклічних сплесків за умови, коли частоти власних коливань атомів в кристалічній решітці речовини і частоти несучих коливань опромінюючого сигналу кратні з коефіцієнтом 1000.

Неспівпадіння фаз взаємодіючих коливань викликає суцільний, без максимумів фон, котрий характеризує поглинаючі властивості зазначених матеріалів. Але, якщо фази коливань збігаються – спостерігається сплеск, що фіксується приладами. Таке явище практично підтверджує модель резонансного характеру взаємодії електромагнітної НВЧ-хвилі з атомами кристалічної структури радіопоглинаючих матеріалів та дозволяє провести аналіз отриманих кількісних характеристик явища виникнення ефекту резонансного збудження і перевипромінювання електромагнітних коливань такими радіопоглинаючими речовинами, як активоване вугілля, фторопласт-III та кардіерит.

### **Висновки**

Таким чином, в якості висновків можна зазначити, що:

- для теоретичного пояснення зафіксованого явища з певною мірою обґрунтованості можна використовувати модель де Бройля для опису процесу резонансної взаємодії радіохвилі з атомами (молекулами) у вузлах кристалічної решітки речовини;
- на основі обраної моделі були сформульовані уточнюючі умови проведення експерименту для більш глибокого дослідження отриманого ефекту резонансного електромагнітного збудження діелектричної речовини;
- результати дослідження поглинаючих властивостей активованого вугілля, фторопласту-III та кардіериту в ході проведення експерименту на лабораторній установці показали:
- послаблення вихідного сигналу та виникнення електромагнітного імпульсу резонансного збудження;
- залежність параметрів вихідного сигналу від початкової фази НВЧ-сигналу опромінювання
- спектри зафіксованих сигналів збудження незалежні від спектру сигналу опромінювання і носять характер відгуку на резонансне збудження кристалічної структури радіопоглинаючої речовини;
- 2–4-кратне збільшення амплітуди сигналу відгуку у порівнянні із сигналом опромінювання для критичних значень початкових фаз сигналу опромінювання;
- для більш конкретної оцінки можливості застосування зазначеного явища в практичній радіолокації необхідні додаткові теоретичні та експериментальні дослідження з використання інших моделей взаємодії електромагнітних НВЧ-хвиль з діелектричною речовиною (електронографічний метод, радіочастотний модифікований метод холостого ходу, радіочастотний метод короткого замикання), а також оцінки необхідних енергетичних співвідношень між взаємодіючими електромагнітними полями.

### **Література**

1. Довідник / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пашенко та ін. - К.: МО України, ХВУ, 2003. - 368 с.
2. Солонніков В.Г., Пархомей І.Р., Рукосуєв В.В. Аналіз можливостей щодо виявлення повітряних цілей зі штучно зниженою площею віддзеркалення. – К.: Зб. наук. пр. ННДЦ ОТ і ВБУ. – 5(25), 2004 р. – С.147-153.
3. Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Строение вещества. – М.: Высшая школа, 1978г. – 304с.
4. Барцевский Б.У. Квантово-оптические явления. – М.: Высшая школа, 1982. – 136с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, – 536 с.
6. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В.А. Богуш, Т.В. Борботько, А.В. Гусинский и др. Под ред. Л.М. Лынькова. – Мн.: Бестпринт, 2003. – 406 с.

Отримано 20.11.2011 р.